

北半球极涡面积、强度的季节变化及其与中国东北地区气温的关系

章少卿 于通江 李方友 王晓明

王侠飞 邬为民

(吉林省气象台)

提 要

本文讨论北半球极涡面积、中心强度与全国40个台站温度的关系及它们的季节变化,并得出如下结论:

1. 当第二象限(85° — 175° E)极涡面积大,极涡中心位势米值高时,中国大多数站的气温偏冷,反之亦然。
2. 在500百帕层冬季第一象限(5° W— 85° E)极涡面积与夏季第二象限极涡面积成正相关。
3. 季节的极涡中心强度是持续的。
4. 在欧亚大陆的极涡面积大小的振荡分别向东-西两方向传播。

一

300百帕层极涡面积与位置的演变 J. K. Andell 与 J. Korshover^[1] 已作了详细讨论,并与北美地面气温的冷暖作了相关分析,我们在文献[2]中也讨论了100百帕层逐日极涡中心频数分布类型与东北区夏季低温之间的关系。本文通过对300、500百帕极涡面积大小的分析,得出它不仅对东北区气温高低关系十分密切。同时利用相关分析方法初步探讨了极涡面积的季节变化及东西两半球极涡的相互关系。

二

1. 极涡面积的定义

我们认为对季度预报来讲,整个北半球可以看成是极地涡旋与副热带高压这两大实体系统相互作用的结果。北半球极涡的最南界线我们定义在这二个系统的交界线上,即在主西风带等高线以北所包围的面积为极涡的面积,在文献[1]中也是这样定义的。因此我们所取等高线的数值是随着季节而变化的,详见表1。

1983年6月28日收到,1984年1月21日收到再改稿。

表 1

值 \ 月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
500 百帕	5560	5640	5640	5640	5680	5720	5760	5760	5680	5640	5600	5600
300 百帕	9280	9280	9280	9320	9400	9480	9480	9480	9440	9320	9320	9280

注: 这些等高线的值, 取自多年月平均图上 0° 、 60°E 、 90°E 、 120°E 、 180° 、 120°W 、 90°W 、 60°W 八个经度上西风带等高线的平均值。

在这种定义下求得的极涡面积, 虽然显得比较大, 但它与我国气温的关系是最好的, 在文献[2]中我们通过不同定义下所算得的极涡面积与我国气温高低的相关系数场做了比较。若把西风急流作为一个单独的系统来考虑, 则极涡南界脱离了上述二大实体系统的作用带, 因此它与我国广大地区的气温关系并不密切。另外若极涡面积的范围只局限在极区附近, 则它与我国广大地区的气温成反相关, 与我们习惯的认识正好相反, 因此本文所定义的极涡面积与我国广大地区的气温关系最密切(详细的参看文献[2])。若从另一角度讲, 我们把极涡这一实体看成如下的结构, 即, 极涡有一个极涡核, 它基本上在极区附近, 还有一个极涡壳层, 它的边界到达主西风带; 核的活动对我国气温高低关系不密切, 而壳层边界(即主西风带)的南北, 对我国广大地区气温高低关系密切。

2. 极涡面积计算

我们用公式:

$$S = \int_{\varphi}^{\pi/2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r^2 \cos \varphi d\varphi d\lambda = r^2(1 - \sin \varphi)(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (1)$$

式中 S 为在经度 $\lambda_2 - \lambda_1$ 间隔内的极涡面积; φ 为纬度; λ_1 、 λ_2 为经度; r 为地球半径, 其值取为 6378 公里。

用差分格式以每 10 个经度空间步长求北半球整个极涡面积的公式为:

$$S_{\text{总}} = \frac{\pi r^2}{18} \sum_{i=1}^{36} (1 - \sin \varphi_i) \quad (2)$$

用式(2)可计算得到北半球整个极涡面积 $S_{\text{总}}$ 及四个象限——第 I 象限($5^\circ\text{W}-85^\circ\text{E}$)、第 II 象限($85^\circ-175^\circ\text{E}$)、第 III 象限($175^\circ\text{E}-95^\circ\text{W}$)、第 IV 象限($95^\circ-5^\circ\text{W}$)的极涡面积。

三

我们所用的资料, 500 百帕层取自中央台(时间 1951—1980 年), 300 百帕层取自西德出版的天气图(时间: 从 1963 年 1 月至 1973 年 6 月; 1974 年 9 月至 1975 年 6 月及 1975 年 8 月至 1977 年 4 月)。我们分别计算了这两层次的月平均图逐月极涡面积, 根据计算出来的极涡面积资料, 通过分析发现, 它们有明显的气候性季节变化, 即冬季大, 夏季小(参见图 1)由于用上述定义计算出来的 300、500 百帕两层的极涡面积有很好的一致性(两层

I、II、III、IV 四个象限对应月极涡面积的相关系数分别为 0.5029、0.5943、0.3267、0.5788。

均大于信度 $\alpha = 0.001$ 的要求), 所以我们先用 500 百帕层的极涡面积来进行讨论。

从图 1 可以明显看到, 500 百帕的极涡面积, 有年周期变化, 冬季(1—3 月)极涡面积大, 夏季(6—9 月)极涡面积小, 这种季节性的年周期, 虽每年都如此, 但它们与常年的偏差各年不同。其次, 通过计算月平均气温距平, 发现与同期第二象限极涡面积的大小关系密切。东北区各月平均温度距平与 500 百帕第二象限极涡面积大小的相关系数 $r = -0.3624$ 远大于信度 $\alpha = 0.001$ 的要求, 若用长春的温度¹⁾分月计算相关系数, 除个别月(如:

9、3、2 月)外, 其他各月均大于信度 $\alpha = 0.05$ 的要求(参见表 2)。而 300 百帕层第二象限极涡面积与东北区温度的相关系数 $r = -0.2247$ 则接近信度 $\alpha = 0.01$ 的要求。

表 2 第 II 象限 ($85^{\circ}\text{E}—175^{\circ}\text{E}$) 极涡面积与长春的相关系数

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相关系数	-0.425	-0.332	-0.224	-0.393	-0.468	-0.401	-0.562	-0.465	-0.305	-0.416	-0.467	-0.602

在空间分布上, 我们把这批极涡面积资料中的第二象限与全国 40 个站²⁾同期月平均气温的相关系数分布看, 其高相关区(指大于 $\alpha = 0.05$ 要求)不仅局限在东北区。现举 1、7 二个月为例说明之: 图 2 中实线是一月份第 II 象限的极涡面积与全国 40 个站一月份气温的相关系数空间分布, 其相关系数通过信度 $\alpha = 0.05$ 要求的区域有: 东北区的中、南部, 长江中、下游及川藏高原。虚线是 7 月份极涡面积与同期气温的相关系数分布, 通过信度 $\alpha = 0.05$ 要求的有: 东北区中、南部及黄土高原。其他各月从略, 综观 1—12 各月相关场, 可得到如下几点:

1. 极涡面积的大小与我国广大地区的气温成反相关, 即, 第 II 象限 ($85^{\circ}\text{E}—175^{\circ}\text{E}$) 的极涡面积大, 我国大部分地区气温低; 反之气温高。

2. 达到信度 $\alpha = 0.05$ 要求的相关区随着季节而有变化, 冬季高相关区的面积大, 几乎占我国极大部分地区, 它可包括: 长江中、下游和华南地区。到夏、秋季这一地区的相关性就小了, 并出现正相关系数的区域, 它可能反映了夏、秋季在该地区主要是副热

1) 根据文献[4], 长春的气温趋势可以代表我国东北绝大部分地区的趋势。

2) 海拉尔、齐齐哈尔、嫩江、哈尔滨、牡丹江、通辽、长春、沈阳、通化、大连、延吉、呼玛、鹤岗、乌鲁木齐、酒泉、兰州、银川、延安、西安、哈密、呼和浩特、太原、北京、济南、郑州、蚌埠、汉口、长沙、藏江、赣州、上海、南昌、宜昌、昆明、重庆、贵阳、桂林、成都、广州、福州。

带高压占控制地位。另外随着从冬到夏的季节变化，高相关区由 $25^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$ 向北推进到 $40^{\circ}-45^{\circ}\text{N}$ 一带，其走向变成纬向。

3. 华北大平原地区的相关系数，极大多数的月份是低值区，什么原因，有待进一步分析。

4. 通观全年，以 2—3 月及 9—10 月的相关性最差，11—12 月及 5—8 月相关性最好。

上述结果，基本上符合我们实用要求的，也反映极涡实体自身的季节变化规律，又与我国广大地区特别是东北区当时温度的高低密切相关，因此我们认为用该定义所求得的极涡面积是可取的。

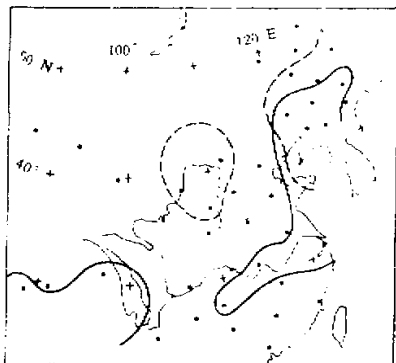


图 2 1 月(实线)、7 月(虚线) 500 百帕极限极涡面积与同期我国 40 个站点气温相关系数分布图

四

1. 500 百帕极涡面积的短期气候变化规律

律

从 1951 年 1 月至 1980 年 12 月北半球总极涡面积距平的变化来看(参见图 3)，1951—1955 年极涡面积比常年收缩，1956—1964 年在平均值附近少变，1965—1980 年则是极涡面积比常年扩大时期。若分季节，则冬季(12—2 月)的极涡面积从 1951—1967 年是比常年收缩的，这十六年极涡面积的平均距平为 $-8.038 \times 10^6 \text{ km}^2$ ；从 1967—1980 年是比常年扩大的，这十三年平均扩大 $8.831 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。夏季(6—9 月)极涡面积从 1951—1955 年是收缩的，这五年比常年平均收缩 $-41.632 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，1956—1960 年是扩大的，它比常年平均扩大 $12.198 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，1961—1968 年总趋势以收缩为主，七年平均距平为 $-0.549 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，1969—1980 年总趋势以扩大为主，十二年平均扩大 $12.129 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。对吉林省夏季(6—9 月)平均气温*的距平，1951—1955 年五年平均高 0.38 度，1956—1960 年五年平均低 0.10 度，1961—1968 年七年平均高 0.1 度，1969—1978 年平均低 0.10 度。其中 1969，1972，1976 三年东北区出现了大范围持续性的低温，因此这种半球范围的极涡扩大和收缩与吉林省气温的高低有一定关系——当极涡面积扩大时，气温低，反之气温高。

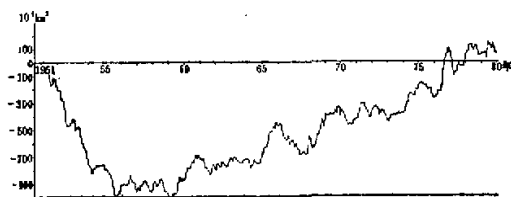


图 3 500 百帕北半球极涡面积距平累积曲线

* 吉林省夏季(6—9 月)平均气温的距平取白城、长春、四平、吉林、通化、延吉六站平均。

2. 冬季第 I, II 象限极涡面积与欧亚大陆雪盖面积、地面层气温的统计关系

分析发现,冬季(11—2月)第 I, II 象限的极涡面积与 1967 至 1978 年冬季(12—3 月)欧亚大陆雪盖面积^[3]之间存在着一定的正相关关系,它们两者的相关系数为 $r = 0.3619$ 。由于年份较短,它只接近 $\alpha = 0.1$ 的要求,但这种正相关关系还是清楚的。如:1976 年 3 月欧亚大陆雪盖面积大,对应同期极涡面积也比常年大,1970 年 3 月欧亚大陆雪盖面积小,对应同期冬季极涡面积也比常年小(图略)。夏季(6—9 月)东北区的地面层气温与 500 百帕同期第 II 象限 (85° — 175° E) 极涡面积之间的相关系数 $r = -0.5642$, 接近置信限 $\alpha = 0.001$ 的要求,它表明极涡面积的大小与下垫面的热状况异常分布存在着十分密切的关系。

从十年的欧亚大陆雪盖面积资料分析,冬季雪盖面积变化比较大的地区主要在 100° E 以西,因此我们用冬季(11—2 月)第 I 象限的极涡面积资料计算它与夏季(6—8 月)第 II 象限极涡面积之间的相关系数,得 $r = 0.4150$, 接近信度 $\alpha = 0.02$ 要求(与 6—9 月的相关系数则为 0.3828, 大于信度 $\alpha = 0.05$ 的要求——参见图 4)。而计算冬季(11—2 月)第 I 象限的极涡面积与吉林省 6—9 月平均气温的相关系数,则得 $r = -0.4537$, 达到信度 $\alpha = 0.02$ 的要求。这表明冬季第 I 象限极涡面积大——雪盖面大,到夏季第 II 象限的极涡面积也大,则东北区为冷夏;反之,为暖夏。

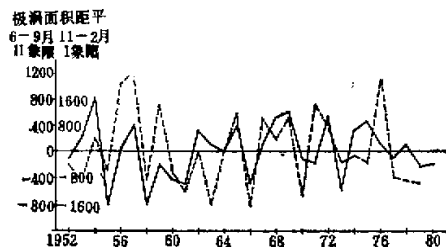


图 4 冬季 I 象限(虚线)与夏季 II 象限(实线)极涡面积距平逐年变化曲线

3. 500、300 百帕极涡面积的季节变化

鉴于 300 百帕层是对流层中反映极涡特征的较好层次,因此我们用 300 百帕极涡面积的变化来讨论其季节变化。从整个北半球的总极涡面积来看,冬—春—夏季的极涡面积有明显的持续性。冬季(11—2 月)与夏季(6—8 月)极涡面积的相关系数为 0.4096,春季与夏季的相关系数为

0.6324, 它们均达到信度 $\alpha = 0.05$ 的要求。现进一步作如下分析:

我们计算了 300 百帕层相邻两象限极涡面积之和的三个月滑动平均前后相隔三或六个月的相关系数(参见表 3)。从表中我们可以看到:

④若欧亚大陆极涡面积扩大时,三个月后大西洋地区(即 I、IV 象限)的面积也扩大;反之亦然。它们之间的相关系数 $r = 0.5073$, 远大于信度 $\alpha = 0.001$ 的要求。同样,大西洋地区极涡面积扩大(或缩小),三个月后,北美大陆的极涡面积也扩大(或缩小),它们的相关系数 $r = 0.4668$, 也远大于信度 $\alpha = 0.001$ 的要求。又,当北美大陆的极涡面积扩大(或缩小),三个月后,太平洋地区(即 II、III 象限)的极涡面积也扩大(或缩小),它们的相关系数 $r = 0.2571$, 接近信度 $\alpha = 0.01$ 的要求。但当太平洋地区的极涡面积扩大(或缩小),三个月后与欧亚大陆极涡面积大小的相关系数只有 0.1852, 没有达到信度 $\alpha = 0.05$ 的要求。

表 3 300 百帕层前期与后期极涡面积的相关系数表

相关系数 前期 \ 后期	I + IV 象限	IV + III 象限	III + II 象限	II + I 象限
III + IV 象限	0.1036	0.1369	0.2571*	-0.2025*
III + II 象限	-0.0340	0.2634*	0.1648	0.1852
I + II 象限	0.5073**	0.3746*	0.3489*	0.1667
I + IV 象限	0.1201	0.4668**	0.3017*	0.2611

注: 有框者是相隔六个月的相关系数, 无框者是相隔三个月的相关系数。

* 是大于信度 $\alpha = 0.01$ 的要求。

** 是大于信度 $\alpha = 0.001$ 的要求。

②若欧亚大陆极涡面积扩大(或缩小), 三个月后, 太平洋地区的极涡面积也扩大(或缩小), 它们的相关系数 $r = 0.3489$, 超过信度 $\alpha = 0.001$ 的要求。同样, 若太平洋地区的极涡面积扩大(或缩小), 三个月后, 北美大陆的极涡面积也扩大(或缩小), 它们的相关系数 $r = 0.2634$, 接近信度 $\alpha = 0.01$ 的要求。但当北美大陆的极涡面积扩大(或缩小)时, 三个月后, 大西洋地区的极涡面积不一定同步变化, 它们两者的相关系数 $r = 0.1036$, 没有达到信度要求。

③若欧亚大陆的极涡面积扩大(或缩小), 六个月后, 北美大陆的极涡面积也扩大(或缩小), 它们的相关系数 $r = 0.3746$, 超过信度 $\alpha = 0.01$ 的要求。同样若大西洋地区的极涡面积扩大(或缩小), 六个月后, 太平洋地区的极涡面积也扩大(或缩小), 它们的相关系数 $r = 0.3017$, 大于信度 $\alpha = 0.01$ 的要求。

④欧亚大陆的极涡面积与六个月后自身的极涡面积之间的相关系数 $r = 0.1667$; 大西洋地区极涡面积前后相隔六个月的自相关系数 $r = 0.1201$, 它们均没有达到信度 $\alpha = 0.05$ 的要求。另外从表中还可以看到, 北美大陆极涡面积的大小与半年后欧亚大陆极涡面积的大小(相关系数为 -0.2025)基本上成反相关, 而太平洋地区极涡面积的大小与六

表 4 500 百帕层前期与后期极涡面积的相关系数

相关系数 前期 \ 后期	I + IV 象限	IV + III 象限	III + II 象限	II + I 象限
III + IV 象限	0.1855**	0.1394	0.0043	0.0067
III + II 象限	0.1029	0.1152*	0.0016	0.0330
I + II 象限	0.2429**	0.2327**	0.0538	0.1022
I + IV 象限	0.2070**	0.2453**	0.0906	0.1107*

* 是大于信度 $\alpha = 0.05$ 的要求, 其余说明同表 3。

个月 after 大西洋地区极涡面积的大小(相关系数为 -0.0340)基本无关系。

至于 500 百帕层各象限极涡面积扩大与缩小的传递情况与 300 百帕层得到的结论基本一致(参见表 4)。表中的相关系数是根据 1951—1980 三十年 500 百帕层极涡面积资料,用三个月滑动平均后,从 358 个子样数计算得到的,它的值比 300 百帕层为小,这是由于子样数增多的缘故。从表 4 的相关系数来分析,500 百帕层极涡面积的传递方向,主要是西向传递的(它们的相关系数达到 $\alpha = 0.001$ 的信度)。向东传递的相关系数只达到信度 $\alpha = 0.05$ 的要求。这一点和 300 百帕层的结果是一致的。

上述四点,我们可以归纳成下述图象:若初始场是一个偏在东半球的极涡,三个月后,变成偶极型,分别向大西洋、欧洲及太平洋扩大,再三个月后(即半年后)极涡偏向西半球。反之亦然。

4. 300 百帕极涡中心强度的季节变化

我们定义:300 百帕极涡中心最低点的高度值为它的强度。为了分析极涡中心强度的季节变化,我们把各月极涡中心的强度距平进行三个月滑动平均(参见图 5),从图中,可以明显看到:三个月平均的极涡强度有持续性,它们可以持续几个月的强(或弱);通过东北区的温度对比分析,凡极涡中心强度深时,东北区气温高,反之则低,两者之间的相关系数为 -0.3915 ,大于置信限 $\alpha = 0.001$ 的要求。类似的结论我们在文献[5]中也有讨论。因为在平均图上极涡中心强度深,实际上意味着每日极涡经常在极圈内活动,因此在平均图上的极涡面积比常年小,这时冷空气主要龟缩在极区,东北区气温高。反之若极涡中心强度浅,意味着逐日的极涡经常偏离极圈到中高纬度活动,因此在月季平均图上极涡面积比常年大,这时冷空气经常向中纬度爆发,东北区气温低。

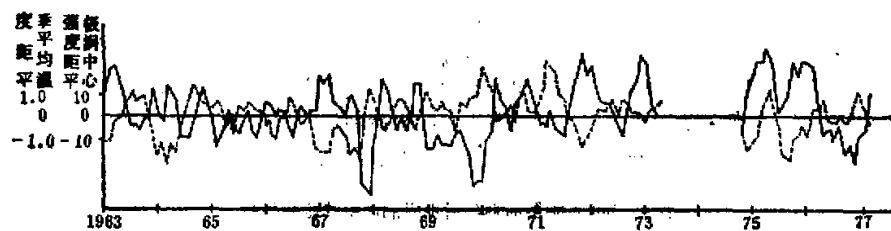


图 5 300 百帕极涡中心强度距平三个月滑动曲线虚线与长春气温距平三个月滑动曲线实线月际变化图

五

几点结论:

1. 极涡面积的大小有半年左右的振动。
2. 欧亚大陆好象是一个十分敏感的振源,它的波动能向东、西两个方向传播,在传播的过程中逐渐衰减。
3. 冬季第 I 象限极涡面积与夏季第 II 象限面积成正相关。

4. 第II象限极涡面积的大小与东北区及我国极大部份地区的气温高低成反相关。其反相关的高值区, 随着季节的推移而有变化。夏季我国南方由于受西太平洋付高影响与同期气温之间的关系不显著。

5. 季的极涡中心强度有持续性。

6. 极涡中心的深浅与东北区的气温成反相关, 即中心高度值越深(浅)东北区温度越高(低)。

参 考 文 献

- [1] Andell J. K., Korshover J., Variation in size and location of the 300 mb north circumpolar vortex between 1963 and 1975, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 105, p. 19—25, 1977.
- [2] 章少卿, 郭为民, 关于几种求计极涡面积方法的比较, *吉林气象*, 第4期, 1984.
- [3] Matson, M., Winter Snow-cover maps of north America and Eurasia from satellite records 1966—1976, NDAA Technical Memorandum NESS, 84, 1977.
- [4] 丁士晟, 东北地区夏季低温的气候分析及其对农业生产的影响, *气象学报*, Vol. 38, No. 3, 1980.
- [5] 吉林省气象台, 100毫巴极涡和南亚高压的活动与东北区夏季低温的关系, *气象学报*, Vol. 39, No. 4, 1981.

THE SEASONAL VARIATIONS OF AREA AND INTENSITY OF POLAR VORTEX IN NORTHERN HEMISPHERE AND RELATIONSHIP WITH TEMPERATURE IN NORTHEAST CHINA

Zhang Shaoqing Yu Tongjiang Li Fangyou
Wang Xiaoming Wang Xiafei Wu Weimin
(Meteorological Observatory of Jilin Province)

Abstract

The relationship between the area and centric intensity of polar vortex in the Northern Hemisphere and the temperature of 40 stations in China, and their seasonal variation are analysed in this paper. The following conclusions are obtained: (1) The temperature at most of stations in China is colder while the area of polar vortex in the second quadrant (85° — 175° E) is bigger and the value of polar centric geopotential metre is higher; and vice versa. (2) At 500 hPa level, the area of polar vortex of the first quadrant (5° W— 85° E) in winter is directly correlated with the polar vortex area of the second quadrant in summer. (3) Seasonal polar vortex centric intensity is very persistent. (4) The oscillation of polar vortex area over Eurasia propagates separately eastward and westward.